

Să se dimensioneze o culee din pământ armat ținând cont de următoarele informații

- ❑ Caracteristicile geometrice
 - Cota niveletei: 0,00;
 - Cota terenului natural: 9,60 m;
 - înălțimea grinzii tablierului: 1,15 m;
 - înălțimea banchetei cuzinetului și a aparatului de reazem: 0,9 m.
- ❑ Caracteristicile elementelor de parament
 - elemente de parament din beton cu dimensiunea de $1,50 \times 1,50 \text{ m}^2$ și grosimile de:
 - 18 cm și presiunea admisibilă $p_a = 38 \text{ kN/m}^2$
 - 22 cm și presiunea admisibilă $p_a = 70 \text{ kN/m}^2$
 - 26 cm și presiunea admisibilă $p_a = 138 \text{ kN/m}^2$

❑ Caracteristicile armăturii:

Benzi din oțel galvanizat având caracteristicile:

Armătură	Secțiune efectivă luată în calcul pentru întindere	Limita de elasticitate	Efortul admisibil al armăturii pentru pământ armat
60x3 mm ²	1,20 cm ²	2400 daN/cm ²	1600 daN/cm ²
80x3 mm ²	1,60 cm ²	2400 daN/cm ²	1600 daN/cm ²
120x3 mm ²	2,40 cm ²	2400 daN/cm ²	1600 daN/cm ²

• Secțiunea considerată în calcul este de 60×2 , 120×2 deci se consideră că 1,00 mm va fi corodată. Deși armăturile sunt prevăzute cu două găuri necesare prinderii de elementele de parament, în calcule se ia secțiunea brută și nu secțiunea netă deoarece forța maximă de întindere apare la o anumită distanță de parament.

- ❑ Caracteristicile fizico-mecanice ale pământului ce alcătuiește masivul din pământ armat
 - unghiul de frecare interioară $\phi = 32^\circ$;
 - greutatea volumică $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$;
 - coeficientul împingerii active:

$$K_a = \text{tg}^2(45 - \phi/2) = \text{tg}^2(45 - 20/2) = 0,30$$

❑ Caracteristicile pământului din rampele de acces la pod:

- unghiul de frecare interioară $\phi = 32^\circ$;
- greutatea volumică $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$;
- coeficientul împingerii active: $K_a \approx 0,30$.

❑ Acțiuni:

- suprasarcina din convoi $q = 10 \text{ kN/m}^2$;
- acțiunile din tablier și convoi pentru un metru de culee incluzând și greutatea proprie a grinzii L și reacțiunea din dala de racordare $P_v = 360 \text{ kN/ml}$; $F_H = 10 \text{ kN/ml}$. Se neglijează momentul dat de acțiunea dalei de racordare și greutatea proprie a grinzii L.

Pasul 1. Predimensionarea culei

- Adâncimea de fundare

$$h' = h + h_1 + \frac{P_v + P_a - \gamma \cdot h_1}{\gamma \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right)} = 7,55 + 2,05 + \frac{360 - 20 \cdot 2,05}{20 \cdot \left(2,5 + \frac{7,55}{2}\right)} = 12,142 \text{ m}$$

$$D_f > \frac{h'}{10} = \frac{12,142}{10} = 1,214$$

$$D_f + h = i \cdot 0,75 \Rightarrow i = \frac{D_f + h}{0,75} = \frac{1,214 + 7,55}{0,75} = 11,6853 \text{ m}$$

Cum i trebuie să fie un număr întreg rezultă valoarea imediat superioară 12. Pentru mai multă siguranță adoptăm pentru i valoarea 13, rezultă:

$$\frac{D_f + h}{0,75} = 13 \Rightarrow D_f = 13 \cdot 0,75 - 7,55 = 2,20 \text{ m}$$

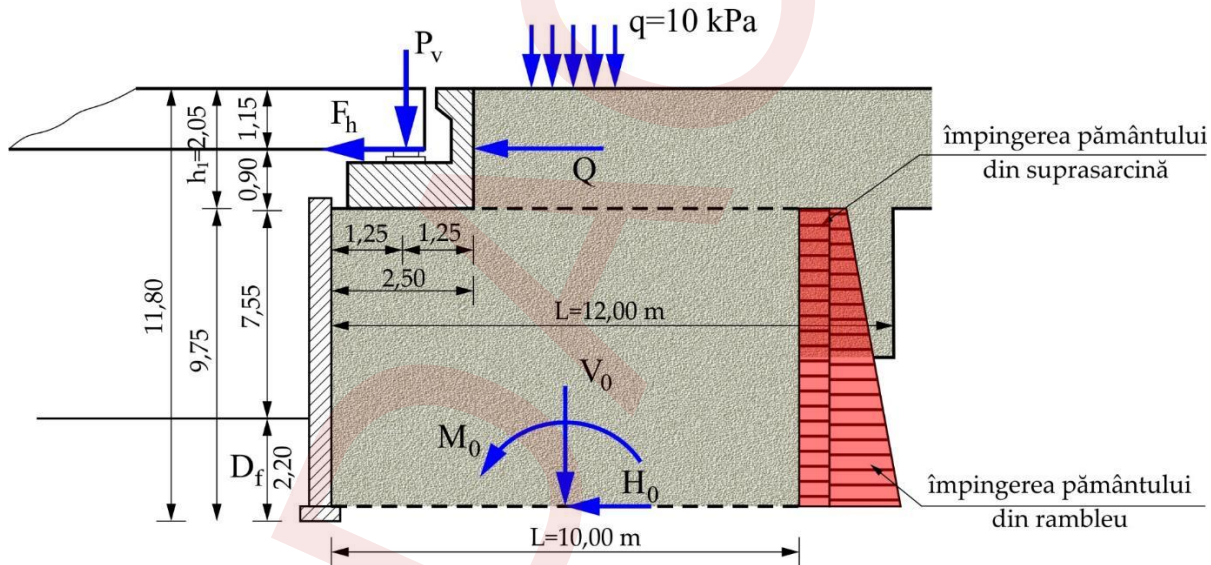
Înălțimea masivului din pământ armat este:

$$H = D_f + h = 2,20 + 7,55 = 9,75 \text{ m}$$

- Lungimea armăturilor

$$H + h_1 = 9,75 + 2,05 = 11,80 \text{ m}$$

$$10 < H + h_1 < 12 \Rightarrow L = 10 \text{ m}$$



Pasul 2. Calculul eforturilor la baza banchetei

- împingerea pământului pe zidul de gardă din greutatea proprie a pământului

$$P_{ag}^1 = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot 20 \cdot 2,05^2 = 12,60 \text{ kN}$$

- împingerea pământului din suprasarcină

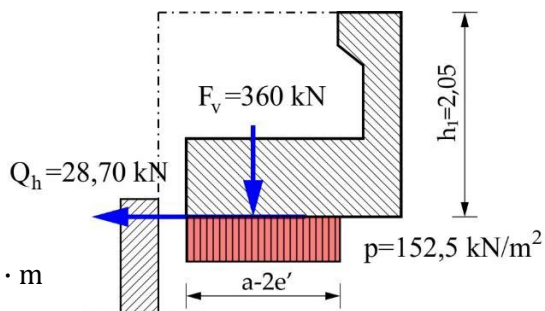
$$P_{aq}^1 = K_a \cdot q \cdot h_1 = 0,3 \cdot 10 \cdot 2,05 = 6,15 \text{ kN}$$

- forța din frânare

$$F_H = 10 \text{ kN}$$

- momentul total

$$M_A = 12,60 \cdot \frac{2,05}{3} + 6,15 \cdot \frac{2,5}{2} + 10 \cdot 0,90 = 23,915 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



- Excentricitatea

$$e' = \frac{M_A}{F_V} = \frac{23,915}{360} = 0,0664 \approx 0,07$$

- Presiunea la baza banchetei cuzinetului considerând distribuția Mayerhof

$$p = \frac{F_V}{a - 2 \cdot e'} = \frac{360}{2,50 - 2 \cdot 0,07} = 152,5 \text{ kN/m}^2$$

- Presiunea netă la baza banchetei

$$p' = p - \gamma \cdot h_1 - q = 152,5 - 20 \cdot 2,05 - 10 = 102 \text{ kN/m}^2$$

- Forța netă

$$Q' = p' \cdot (a - 2 \cdot e') = 102 \cdot (2,50 - 2 \cdot 0,07) \text{ kN}$$

Pasul 3. Calculul eforturilor în centrul de greutate al tălpii masivului de pământ

- Eforturile verticale din:

- greutatea proprie a masivului

$$(h_1 + h_2) \cdot \gamma \cdot L = 11,80 \cdot 20 \cdot 10 = 2360 \text{ kN}$$

- suprasarcina uniform distribuită

$$q \cdot L = 10 \cdot 10 = 100 \text{ kN}$$

- suprasarcina parțial distribuită

$$Q' = 240,74 \text{ kN}$$

- momentul

$$Q' \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{a - e'}{2} - c \right) = 240,7 \cdot \left(\frac{10}{2} - \frac{2,50 - 2 \cdot 0,07'}{2} - 0,1 \right) = 91,25 \text{ kNm}$$

- Eforturi orizontale

$$Q_H = F_H + Q = 10 + 6,10 + 12,60 = 28,70 \text{ kN}$$

- momentul

$$M = Q_H \cdot h_2 = 28,7 \cdot 9,75 = 279,8 \text{ kNm}$$

- Împingerea pământului dată de suprasarcină

$$P_{aq}^2 = K_a \cdot (q + \gamma \cdot h_1) \cdot h_2 = 0,30 \cdot (10 + 20 \cdot 2,05) \cdot 9,75 = 149,1 \text{ kN}$$

- momentul

$$M = 149,1 \cdot \frac{9,75}{2} = 72,72 \text{ kNm}$$

- Împingerea pământului din rampele de acces

$$P_{ag}^2 = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot h^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,30 \cdot 20 \cdot 9,75^2 = 285,2 \text{ kN}$$

- momentul

$$M = 285,20 \cdot \frac{9,75}{3} = 926,9 \text{ kNm}$$

- Forța totală verticală

$$V_0 = 2360 + 100 + 240,7 = 2700,7 \text{ kN}$$

- Momentul încovoietor total

$$M_0 = 919,5 + 279,8 + 727,2 + 926,9 = 2853,40 \text{ kNm}$$

Pasul 4. Verificarea la alunecare pe bază

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H_0}{V_0} = \frac{565}{2700,7} = 0,171$$

Cum coeficientul de siguranță la alunecare este de minimum 1,5 rezultă că terenul de bază pe care este fundată culeea trebuie să aibă un coeficient de frecare:

$$\operatorname{tg} \phi = 1,50 \cdot 0,171 = 0,256$$

Efortul unitar pe terenul de fundare acceptând distribuția Mayerhof este

$$e_0 = \frac{M_0}{V_0} = \frac{2853,4}{2700,7} = 1,05 \text{ m}$$

$$\sigma_0 = \frac{V_0}{L - 2 \cdot e_0} = \frac{2700,7}{10 - 2 \cdot 1,05} = 371,8 \text{ kPa}$$

Pasul 5. Calculul eforturilor de întindere în armături

Eforturile determinate de forța orizontală Q_H se consideră liniar repartizate pe înălțimea

$$z_0 = (a - 2 \cdot e') \cdot \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = (2,50 - 2 \cdot 0,07) \cdot \tan \left(45 + \frac{32}{2} \right) \approx 4,08 \text{ m}$$

Calculul eforturilor unitare la nivelurile paturilor de armături pentru $z_i < z_0$ rezultă:

□ Efortul unitar vertical

$$\sigma_{vi} = \gamma \cdot z_i + h_1 \cdot \gamma + q + p' \cdot \frac{a - 2 \cdot e'}{a - 2 \cdot e' + 0,50 \cdot z_i}$$

$$\sigma_{vi} = 20 \cdot z_i + 20 \cdot 2,05 + 10 + 102 \cdot \frac{2,5 - 2 \cdot 0,07}{2,5 - 2 \cdot 0,07 + 0,50 \cdot z_i}$$

$$\sigma_{vi} = 20 \cdot z_i + \frac{240,72}{2,36 + 0,5 \cdot z_i} + 51$$

□ Efortul unitar orizontal

$$\sigma_{Hi} = K_a \cdot \sigma_{vi} + \frac{2 \cdot Q_H}{z_0} (z_0 - z_i) / z_0 = 0,3 \cdot \sigma_{vi} + \frac{2 \cdot 28,70}{4,08} (z_0 - z_i) / z_0$$

$$\sigma_{Hi} = 0,3 \cdot \sigma_{vi} + 14 \frac{(z_0 - z_i)}{z_0}$$

□ Nivelul 1

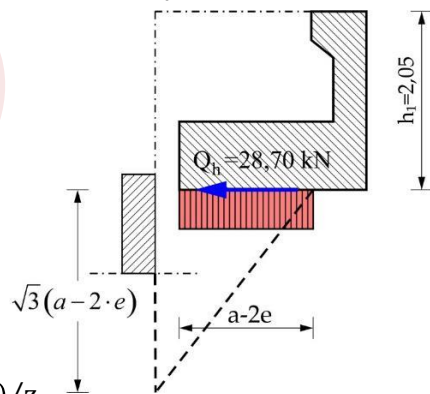
$$z = 0 \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{vi} = \frac{240,72}{2,36} + 51 = 152,5 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{Hi} = 0,3 \cdot 152,5 + 14 = 59,8 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

□ Nivelul 2

$$z = 1,50 \Rightarrow \begin{cases} \sigma_v = 20 \cdot 1,5 + \frac{240,72}{2,36 + 0,75} + 51 = 158,40 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{Hi} = 0,3 \cdot 158,4 + 14 \cdot \frac{4,08 - 1,5}{4,08} = 56,4 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

□ Nivelul 3

$$z = 3,00 \Rightarrow \begin{cases} \sigma_v = 20 \cdot 3 + \frac{240,72}{2,36 + 0,75} + 51 = 173,36 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{Hi} = 0,3 \cdot 173,36 + 14 \cdot \frac{4,8 - 3}{4,8} = 52 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$



□ Nivelul 4

▪ eforturi verticale

- greutatea proprie $(h_1 + z_0) \cdot \gamma \cdot L = (2,05 + 4,08) \cdot 20 \cdot 10 = 1226 \text{ kN}$

- suprasarcina $q \cdot L = 10 \cdot 10 = 100 \text{ kN}$

- suprasarcina redusă $Q' = 240,7 \text{ kN}$

▪ eforturi orizontale

- forța orizontală $Q_H = 28,7 \text{ kN}$

▪ împingerea activă din suprasarcină

$$K_a \cdot (q + \gamma \cdot h_1) \cdot z_0 = 0,3 \cdot (10 + 20 \cdot 2,05) \cdot 4,08 = 62,40 \text{ kN}$$

▪ împingerea pământului din rambleu

$$\frac{1}{2} \cdot K'_a \cdot \gamma \cdot z_0^2 = 0,5 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 4,08^2 = 49,9 \text{ kN}$$

▪ momentul încovoietor:

$$M = 240,7 \cdot 3,72 + 28,7 \cdot 4,08 + 62,4 \cdot \frac{4,08}{2} + 49,9 \cdot \frac{4,08}{2} = 1231,7 \text{ kNm}$$

▪ excentricitatea

$$e = \frac{M}{V} = \frac{1231,70}{1566,70} = 0,78 \text{ m}$$

▪ efortul unitar vertical

$$\sigma_v = \frac{V}{L - 2 \cdot e} = \frac{1566,70}{10 - 2 \cdot 0,78} = 185,6 \text{ kN/m}^2$$

▪ efortul unitar orizontal

$$\sigma_H = K_a \cdot \sigma_v = 0,3 \cdot 185,6 = 55,70 \text{ kN/m}^2$$

□ Nivelul 5 ($z = 6,75 \text{ m}$)

▪ eforturi verticale

- greutatea proprie $(h_1 + z) \cdot \gamma \cdot L = (2,05 + 6,75) \cdot 20 \cdot 10 = 1760 \text{ kN}$

- suprasarcina $q \cdot L = 10 \cdot 10 = 100 \text{ kN}$

- suprasarcina redusă $Q' = 240,7 \text{ kN}$

▪ eforturi orizontale

- forța orizontală $Q_H = 28,7 \text{ kN}$

▪ împingerea activă din suprasarcină

$$K_a \cdot (q + \gamma \cdot h_1) \cdot z = 0,3 \cdot (10 + 20 \cdot 2,05) \cdot 6,75 = 103,30 \text{ kN}$$

▪ împingerea pământului din rambleu

$$\frac{1}{2} \cdot K'_a \cdot \gamma \cdot z^2 = 0,5 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 6,75^2 = 136,7 \text{ kN}$$

▪ momentul încovoietor:

$$M = 240,7 \cdot 3,72 + 28,7 \cdot 6,75 + 103,3 \cdot \frac{6,75}{2} + 136,7 \cdot \frac{6,75}{2} = 1769,2 \text{ kNm}$$

▪ excentricitatea

$$e = \frac{M}{V} = \frac{1769,2}{2100,7} = 0,84 \text{ m}$$

▪ efortul unitar vertical

$$\sigma_v = \frac{V}{L - 2 \cdot e} = \frac{2100,7}{10 - 2 \cdot 0,84} = 252,5 \text{ kN/m}^2$$

▪ efortul unitar orizontal

$$\sigma_H = K_a \cdot \sigma_v = 0,3 \cdot 252,5 = 73,6 \text{ kN/m}^2$$

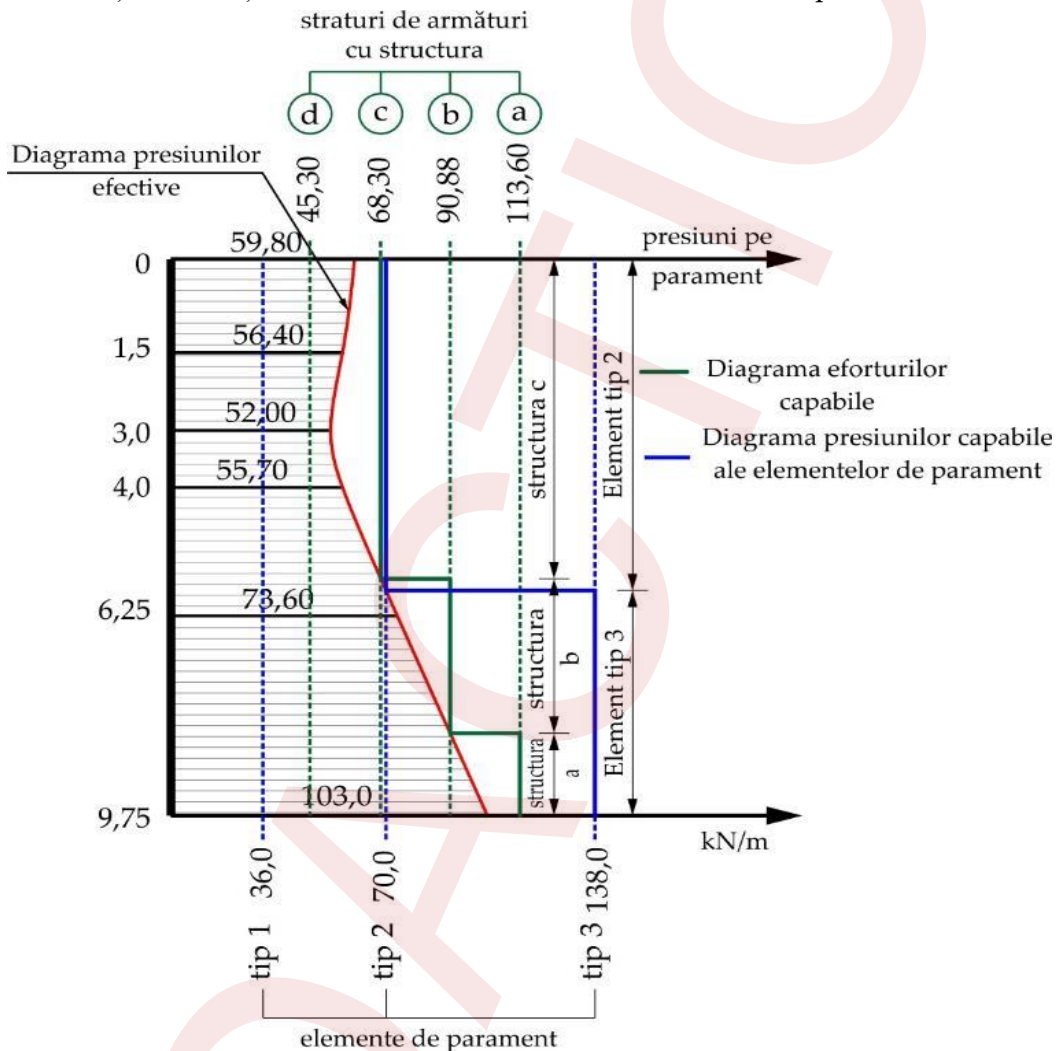
□ Nivelul 6 ($z = 9,75 \text{ m}$)

$$\sigma_v = 341,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_v = 103,0 \text{ kN/m}^2$$

Pasul 6. Determinarea secțiunii armăturii și a tipului de element de parament

În graficul de mai jos se prezintă variația presiunilor orizontale ce acționează asupra paramentului în funcție de înălțime. Considerând următoarele structuri de paturi de armături:



a) **10 armături de 80 × 3** → 16,00 cm² pe un element de parament cu suprafața de 2,25 m²
 - secțiunea efectivă pe m² de parament este 16/2,25=7,1 cm²/m²
 - efortul admisibil al patului **113,60 kN/m²**

b) **8 armături de 80 × 3** → 12,80 cm² pe un element
 - efortul admisibil al patului **90,88 kN/m²**

c) **6 armături de 80 × 3** → 9,60 cm² pe un element
 - efortul admisibil al patului **68,3 kN/m²**

d) **4 armături de 80 × 3** → 9,60 cm² pe un element
 - efortul admisibil al patului **45,3 kN/m²**

Cu ajutorul acestor structuri se construiește diagrama eforturilor capabile, determinându-se grafic și înălțimea de distribuție a fiecărei structuri.

În mod similar se determină și distribuția pe înălțime a tipurilor de elemente de parament.

Pasul 7. Verificarea lungimii armăturilor

Lungimea minimă de aderență necesară preluării unui efort T fără alunecare este:

$$T = 2 \cdot b \cdot f \cdot \int_0^{l_a} \sigma_v dl$$

b – lățimea armăturilor;

σ_v – efortul unitar vertical;

f – coeficientul de frecare pământ – armătură egal cu 0,4

Se vor verifica lungimile armăturilor pentru fiecare al 4-lea strat de armătură.

□ Nivelul 1 (0,40 m sub bancheta cuzinetului)

▪ numărul armăturilor pe m² de parament

$$n = \frac{6}{2,25} = 2,67 \text{ buc/m}^2$$

▪ lățimea 80 mm

▪ lungimea 10 m

$$\sigma_H = 59,8 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow T = \frac{\sigma_H}{n} = \frac{59,8}{2,67} = 22,43 \text{ kN/pe armătură}$$

▪ efortul unitar vertical la acest nivel din rambleu:

$$\sigma_v = \gamma \cdot (h_1 + z) = 20(2,05 + 0,40) = 49 \text{ kN/m}^2$$

▪ lungimea minimă de ancorare

$$l_a = \frac{T}{2 \cdot b \cdot \sigma_v \cdot f} = \frac{22,43}{2 \cdot 0,08 \cdot 49 \cdot 0,5} = 7,15$$

▪ coeficientul de siguranță la lunecarea armăturilor este

$$c_s = \frac{L}{l_a} = \frac{10}{7,152} = 1,39 < 1,50 \text{ deci } \mathbf{nu \ se \ verifică!}$$

Ca urmare punem pe această zonă paturi de armături cu structura (b) și lungimea de 12 m

$$n = \frac{8}{2,25} = 3,55 \Rightarrow T = \frac{59,80}{3,55} = 16,8 \text{ kN/o armătură}$$

$$l_a = \frac{16,80}{2 \cdot 0,08 \cdot 49 \cdot 0,4} = 5,35 \text{ m}$$

$$c_s = \frac{12}{5,35} = 2,24 > 2 \text{ deci se verifică}$$

□ Nivelul 2 (la 1,50 m sub bancheta cuzineților)

▪ lățimea armăturilor 80 mm

▪ lungimea armăturilor 11 m

▪ numărul de armături pe m²

$$n = \frac{6}{2,25} = 2,68 \text{ buc/m}^2$$

$$\sigma_H \approx 56,4 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow T = \frac{56,4}{2,67} = 21,1 \text{ kN pe o armătură}$$

$$\sigma_v = 20 \cdot (2,05 + 1,50) = 71 \text{ kN/m}^2$$

$$l_a = \frac{21,10}{2 \cdot 0,08 \cdot 71 \cdot 0,04} = 4,65 \text{ m}$$

$$c_s = \frac{11}{4,65} = 2,37 > 2, \text{ deci } \mathbf{se \ verifică!}$$